

GEOMETRIA DE LOS SISTEMAS RADAR BIESTATICOS

A. Elias Fusté, J.X. Vigo Tarrés, A. Broquetas Ibars y A. Aguasca Solé

Dpt. de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Grupo A.M.R.

E.T.S. Ing. Telecom. de Barcelona. U.P.C.

Aptd. 30.002 08080 BARCELONA

ABSTRACT

A bistatic radar is defined as having the receivers and transmitters widely separated by distances equivalents to the target range. A monostatic radar has the receiver and transmitter collocated with a common antenna for both receive and transmit functions. Monostatic radar generally exhibits better operational performance than a bistatic radar, and except for some special cases such as an over-the-horizon (OTH) radar, it has been used in modern systems and for most classic applications. The actual revaluation of bistatic radar is being driven by an emerging operational emphasis on passive operation. The technology to perform the measurements and real-time calculations required by a bistatic system is now available, providing the capability of passive surveillance, ranging and target location. In this paper we present the features and performance study of this kind of surveillance system compared with the classics monostatic systems.

INTRODUCCION

Los sistemas radar multiestáticos son aquellos en los que existe una separación espacial de un orden de magnitud comparable con la cobertura, entre el subsistema transmisor y los subsistemas receptores, más estrictamente; los sistemas radar multiestáticos se diferencian de los sistemas convencionales o monoestáticos, en que las antenas emisoras no coinciden con las receptoras, estando además separadas en el espacio de forma notable.

La situación más normal para un sistema radar multiestático es la que representa un solo subsistema emisor y varios subsistemas receptores distribuidos espacialmente con separaciones apreciables entre sí y con respecto al subsistema emisor, a cada par formado por el subsistema emisor y un subsistema receptor, se le conoce también por "radar biestático", y al conjunto total, caso de disponer de varios pares biestáticos o de un solo emisor con varios receptores, se le puede denominar "red radar multiestática", la cual puede completarse, si se quiere una operación centralizada de todo el sistema, con un Centro de Fusión de Datos. Existe actualmente, sin embargo, una revalorización de los sistemas multiestáticos, su motivación hay que buscarla en tres razones fundamentales, a saber:

-(i) Las ventajas estratégicas que provee un sistema de vigilancia (radiolocalización, seguimiento etc.) basado en sensores de operación pasiva.

-(ii) La posibilidad de ofrecer información adicional, un nuevo tipo de sensor (Sección Recta Radar Biestática), a los futuros sistemas de clasificación inteligente de blancos.

-(iii) La disponibilidad de la tecnología susceptible de proporcionar en tiempo real, las medidas y los cálculos que un sistema multiestático requiere .

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS MULTIESTATICOS.

Según las coordenadas usadas en el posicionamiento del blanco, los

sistemas multiestáticos pueden clasificarse en:

- **Sistemas Angulares.**- Aquellos que utilizan los ángulos de acimut y de elevación de las antenas emisoras y receptoras para el posicionado del blanco. Son los más completos, conceptualmente utilizan dos antenas directivas que, o tienen un barrido sincronizado que obliga a la antena receptora a una exploración no lineal (forzosamente barrido electrónico, uso de técnicas de persecución de pulso etc.), o bien utilizan técnicas de A.O.A. (Angle Of Arrival) en la antena receptora. Sus principales ventajas e inconvenientes son:

- Posibilidad de usar altas PRF (Pulse Repetition Frequency), de lo cual se deriva una mejor estimación de la velocidad del blanco permitiendo un buen tratamiento MTI y MTD.

- Alejamiento de la primera velocidad ciega del sistema, debido a que esta es proporcional a la PRF, evitando la necesidad de usar técnicas de "staggering" de PRF.

- Posibilidad de usar el tiempo de retardo del eco como un parámetro adicional para un ajuste fino del posicionado.

- Necesidad de usar técnicas de barrido electrónico o técnicas AOA (Angle Of Arrival) y TOA (Time Of Arrival) con un perfecto ajuste entre antenas emisora y receptora, tanto para sistemas 2D como 3D. Esto es debido a la imposibilidad de explorar un volumen elipsoidal manteniendo la intersección de dos haces situados en los focos con movimiento a velocidad angular constante para ambos.

- Alto grado de complejidad en el ajuste de la curva de alcance máximo y alcance sin ambigüedad.

Sistemas Temporales.- Estos utilizan como parámetros para el posicionado el acimut (2D) y la elevación (3D) de la antena más directiva (generalmente la receptora), el tiempo de retardo del eco y la línea de base (distancia entre antenas emisora y receptora). Las ventajas que presentan estos sistemas son:

- Posibilidad de que una antena sea omnidireccional, lo cual simplifica mucho el sistema.

- Fácil ajuste de la curva de alcance máximo y de la de alcance sin ambigüedad.

Sus principales inconvenientes son:

- Usan una PRF menor que los sistemas angulares con lo que no disponen de las ventajas de éstos en cuanto a estimación de velocidad, discriminación de blancos móviles y primera velocidad ciega del sistema.

- Peor resolución espacial.

PARAMETRIZACION DE LOS SISTEMAS MULTIESTATICOS.

La Cobertura Radar.- Para un par biestático la ecuación de alcance será:

$$(R_t R_r)^2 = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_b \text{ (SPG)}}{(4\pi)^3 k T_e B_r F \text{ (S/N)}_0 L_r} \quad (1)$$

R_t : Distancia radial del blanco al subsistema transmisor.

R_r : Distancia radial del blanco al subsistema receptor.

G_t : Ganancia de la antena transmisora.

G_r : Ganancia de la antena receptora.

σ_b : Sección Recta Radar Biestática.

pudiéndose definir una cobertura equivalente R_{eq} .

$$R_{eq} = (R_t R_r)^{1/2} \quad (2)$$

El lugar geométrico de alcance constante en ausencia de efectos de

tierra, viene representado ahora por los llamados "Ovalos de Cassini" (Fig. 2), los cuales se representan en función de un parámetro "k" relacionado con la excentricidad: L^4

$$k = \frac{L^4}{16 (R_t R_r)^2} \quad (3)$$

donde L es la línea de base o distancia entre el subsistema emisor y el subsistema receptor.

El Posicionado.- Para un par biestático temporal 2-D, la geometría de posicionado requiere la medida de un ángulo de acimut α_T o α_R y su correspondiente retardo temporal t_0 . Tomando como origen de coordenadas la posición del subsistema transmisor, tenemos:

- Acimut respecto al Norte: α_T

$$\begin{aligned} \text{- Distancia radial} \\ \text{al transmisor } R_t: \end{aligned} \quad R_t = \frac{\left(\frac{c t_0}{2}\right)^2 - L^2}{2 \left(\frac{c t_0}{2} - L \sin \alpha_T\right)} \quad (4)$$

donde L es la línea de base o distancia entre el subsistema emisor y el subsistema receptor.

Como puede observarse, la expresión (4) no es lineal, la representación de la posición del blanco en un sistema de coordenadas polares (el típico P.P.I. de los sistemas radar) obliga a unas correcciones de posición como las representadas en la figura 3.

Para sistemas biestáticos angulares, la posición viene fijada por la intersección de los haces emisor y receptor (fig.4), así, la distancia radial del blanco al subsistema transmisor viene dada por la expresión:

$$R_t = \frac{L}{\cos \alpha_T (\tan \alpha_T - \tan \alpha_R)} \quad (5)$$

Ambigüedades en Alcance.- Según la forma de obtención de las coordenadas de posicionado del blanco, quedan determinadas unas zonas en las que existe una relación biunívoca entre los parámetros medidos y la posición del blanco. Dicha zona es la zona de cobertura útil del sistema radar.

En los sistemas biestáticos temporales, la zona sin ambigüedad será una elipse con focos en los posicionamientos de los subsistemas emisor y receptor y cuya suma escalar de los radios R_t y R_r máxima vendrá acotada por:

$$(R_t + R_r)_{\max} = \frac{c t_0}{2} = L + \frac{c}{PRF} \quad (6)$$

En los sistemas biestáticos angulares, el hecho de que se produzca una ambigüedad implica forzosamente la existencia dentro del área intersectada por los dos haces de al menos dos pulsos de duración τ_0 cada uno (τ_0 es la duración normal del pulso sin comprimir).

$$\Delta R_{\max} = \frac{(W_t + W_r) \cotg (C/2)}{1 - \left(\frac{B_t + B_r}{2 \sin C}\right)^2} \quad (7)$$

C es el ángulo de corte de los dos haces.

B_t y B_r anchos de haz del emisor y del receptor respectivamente.

W_t y W_r arcos medios del haz emisor y receptor respectivamente. $W_t = R_t \cdot B_t$, $W_r = R_r \cdot B_r$.

$$PRF_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8}{\Delta R_{\max}} \quad (8)$$

Las Resoluciones.— Para los sistemas biestáticos el parámetro más adecuado para medir la resolución es el área de resolución, o zona del espacio donde se intersectan los haces emisor y receptor, esta área multiplicada por la intersección en el plano ortogonal nos dará también el volumen de incertidumbre. Para sistemas biestáticos angulares esta área toma la expresión:

$$AH = c\tau_0 \frac{W_t \cdot W_r}{(2(W^2 + W^2))^{1/2}} \sec^2(C/2) \quad (9)$$

C: es el ángulo de corte de los dos haces.

$W_t = R_t \cdot \theta_{HT}$, y $W_r = R_r \cdot \theta_{HR}$

La resolución en estos sistemas ya no es homogénea en todo el espacio, en la figura 5 se presenta un ejemplo del lugar geométrico para este tipo de resolución.

En los sistemas biestáticos temporales, el área de resolución puede aproximarse por las expresiones (10) y (11), expresiones que por otra parte son aplicables a cualquier sistema multiestático en el cual pueda suponerse que un haz es de un orden de magnitud superior al otro.

$$AHT = S(e_2) - S(e_1) \quad (10)$$

$$S(e_1) = k_1^2 (1 - e_1^2)^{-3/2} \left(\frac{\sin(\theta_D/2)}{\cos(\theta_D/2) - e_1 \sin(\theta_D/2)} \right) + e_1 (1 - e_1^2)^{1/2} \frac{\sin(\theta_D/2)(\cos \phi - e_1 \cos(\theta_D/2))}{1 - 2e_1 \cos \phi \cos(\theta_D/2) + (1/2)e_1(\cos(2\phi) + \sin \theta_D)} \quad (11)$$

θ_D es el ancho de haz de la antena más directiva.

ϕ es el ángulo formado por la línea de base y el eje del haz de la antena más directiva.

e es la excentricidad $e = L/(c\tau_0/2)$, con L la línea de base.

k es la expresión: $k = (c\tau_0/4)(1 - e^2)$

$S(e_1) - S(e_2)$ se corresponde con el área intersectada por el haz más directivo y dos elipses cuyos ejes mayores son $c\tau_0/2$ y $c\tau_0/2 + c\tau_0$ respectivamente.

El efecto doppler.— La estimación de la velocidad de un blanco es un parámetro de gran interés para los sistemas radar, su evaluación permite discriminar blancos dentro del volumen de incertidumbre, hacer seguimiento y si más no, en radares pulsados de baja PRF permite al menos diferenciar blancos fijos (clutter) de blancos móviles. En la figura 6 se presenta el lugar geométrico de las trayectorias isodoppler para sistemas radar multiestáticos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Brookner. "Aspects of Modern Radar". Artech House 1988.
- [2] D.C. Schleher. "Automatic detection and radar data processing" Editorial Artech House 1982.
- [3] J.I. Glaser. "Fifty years of bistatic and multistatic radar". Proc. IEE Vol. 133 Pt. F, no. 7 pp. 604-612.
- [4] E. Hanle. "Survey of bistatic and multistatic radar" Proc. IEE Vol. 133 Pt. F, no. 7 pp. 587-596.

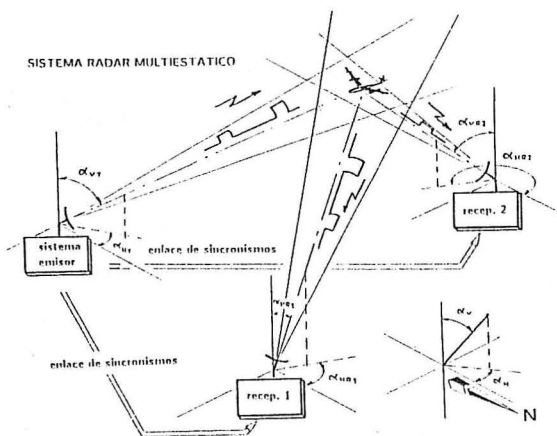


fig. 1

OVALOS DE CASSINI

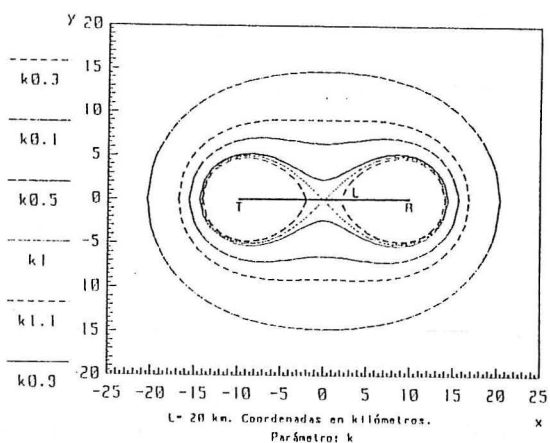


fig.2

CORRECCION PARA UN PPI CENTRADO EN EL TRANSMISOR

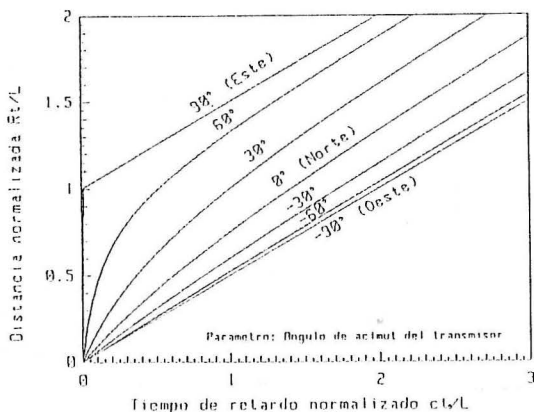


fig. 3

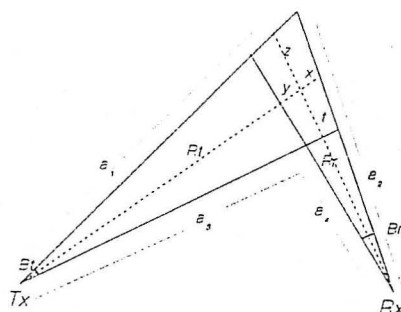


fig. 4

RESOLUCION ESPACIAL - SISTEMAS BIESTATICOS ANGULARES

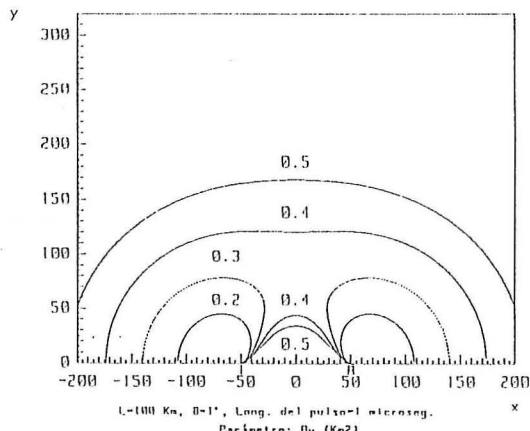


fig. 5

TRAYECTORIAS ISODOPLER

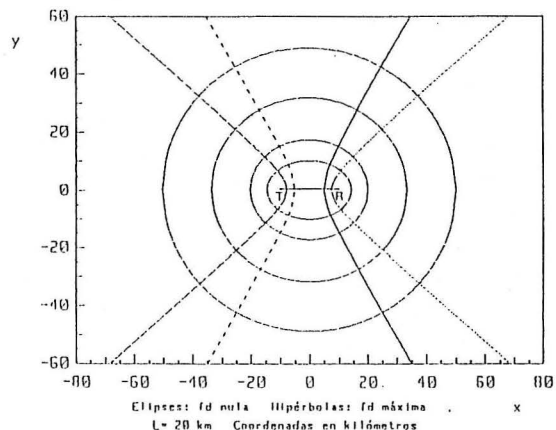


fig. 6